

مجلة جامعة الملك سعود , 14, الرياض (التاريخ)

تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية الطويلة باستخدام شرائح الألياف الكربونية

Strengthening of slender circular columns with carbon fiber sheets (CFRPS)

م.بنان فلوح

جامعة دمشق - كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الإنشائية

د. م.ميادة الكوسا

جامعة دمشق - كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة الإنشائية

د. م.ماجد أسعد

جامعة دمشق - كلية الهندسة المدنية - قسم هندسة النقل و المواصلات

الكلمات المفتاحية : الأعمدة الطويلة , التقوية , شرائح الألياف الكربونية CFRP sheets.

الخلاصة:

تدرس هذه المقالة تأثير استخدام البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRPs في تقوية الأعمدة الدائرية البيتونية المسلحة الخاضعة للتحنيب والمعرضة للضغط المحوري حتى الانهيار ، والمنفذة من بيتون ذي مقاومة مميزة أقل من التصميمية . كما تعرض المقالة سلوك الأعمدة المذكورة بعد تقويتها لمعرفة مدى فعالية الالياف الكربونية في عملية التقوية .

يتضمن البرنامج التجريبي صب أربع مجموعات من الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية، الأولى مرجعية والثانية مغلقة بطبقة ألياف كربونية عرضية واحدة والثالثة مغلقة بطبقة ألياف كربونية طولية و أخرى عرضية و الرابعة مغلقة بطبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية وذلك لمعرفة تأثير اتجاه الألياف على زيادة قدرة تحمل العناصر المدروسة . أظهرت نتائج الاختبارات التجريبية أن الالياف الكربونية الموضوعية بشكل عرضي تحسن قدرة تحمل الأعمدة بينما لا يوجد تأثير واضح للتقوية بالالياف الكربونية الطويلة . بنتيجة عملية حصر البيتون و منعه من التشوه العرضي تحسن الالياف الكربونية بالاتجاه العرضي قدرة تحمل الأعمدة على الضغط و تعتبر هي فقط الفعالة في عملية التديم .

Abstract:

The present paper evaluates the effect of carbon fiber-reinforced polymers CFRPs on the behavior of slender circular reinforced concrete columns subjected to axial compressive loading up to failure.

The experimental program includes four sets of slender circular reinforced concrete columns casted from a concrete with a compressive strength, f_c , lower than the characteristic compressive strength f_{ck} . The first set is the reference columns, the second one is coated with one transversal layer of CFRPs, the third set is coated with one longitudinal layer and other transversal layer of CFRPs while the fourth one is coated with tow transversal layers of CFRPs. The aim of these three methods of coating is to determine the effect of fibers direction on the carrying capacity of columns. Experimental results showed that the transversal coating improves the bearing capacity of columns while there was no clear effect of strengthening with longitudinal sheets. The benefit effect of transversal carbon fibers is explained by the confinement process which enhances the deformability and the compressive strength of concrete.

يبين المرجع رقم [4] نموذج اجهاد-تشوه لأعمدة بيتونية دائرية مغلقة

1- المقدمة :

بالالياف FRP كما أعطى (2005) G. Wu, Z.T. Lu, Z.S. Wu ,

اهتمت الأبحاث التجريبية في السنوات العشر الأخيرة بإيجاد طرق جديدة

[7] طرق لحساب المقاومة القصوى و التشوهات الموافقة لعينات بيتونية

لتدعيم وتقوية المنشآت القائمة باستخدام مواد ذات فعالية أفضل

أسطوانية مغلقة بالألياف FRP . ركز الباحث و زملاؤه على شكل

لمقاومة العوامل الجوية و الأحمال العرضية الطارئة أو لاستثمار الفراغ

أنحيار البيتون المغلف إن كان هشاً strain – softening أو مع تلدن

المعماري . تعد البوليميرات المسلحة بالألياف الكربونية CFRPs من

strain-hardening response . بالاعتماد على النتائج التجريبية

المواد الجديدة و الفعالة لما لها من مزايا إيجابية .

استنبط Wu et al قانون سلوك تشوه - إجهاد بالاعتماد على نسبة

تتميز الألياف الكربونية بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والميكانيكية

مقاومة الضغط لاسطوانات بيتونية مغلقة بالألياف الكربونية الى تلك

التي تجعلها ملائمة لاستخدامات التقوية للعناصر الإنشائية ومن هذه

للاستوانات البيتونية غير المغلفة بالألياف الكربونية.

الخصائص [9] سرعة التنفيذ وخفة الوزن وعدم التأثير بالصدأ ومقاومتها

قدم (2006) Chaallal et al [3] مقارنة بين نتائج تجريبية لمقاومة

لأملح والتجمد وسهولة الإصلاح بالإضافة لعامل مرونة عالي وعامل

أعمدة بيتونية مصغرة مدعمة بالألياف FRP والقيم الناتجة من ست

تمدد حراري أقل ب (50) مرة من الفولاذ و قدرة عالية لمقاومة تأثيرات

نماذج تغليف لباحثين سابقين مع القيم الحسابية بحسب العلاقات

التعب.

التصميمية وفق ثلاث كودات تصميم للأعمدة الدائرية المقواة بالألياف

وضعت مبادئ التصميم النظرية للأعمدة المحملة محورياً والمغلقة

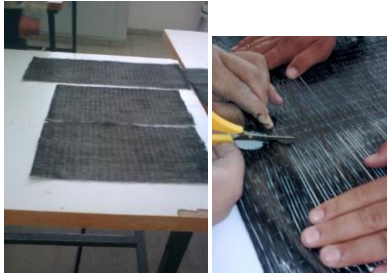
FRP وهي ACI440 [1] , CSA-S806-02 [2] , ISIS Canada

بالألياف الكربونية من قبل Wang Yung-Chih (2000) [11] كما

| الخاصية | القيمة | الواحدة |
|-----------------|--------|------------|
| الوزن | 220±10 | g / m^2 |
| الكثافة | 1.78 | g / cm^3 |
| السماكة | 0.12 | mm |
| مقاومة الشد | 4100 | MPa |
| عامل المرونة | 231000 | MPa |
| انفعال الشد | 1.7% | - |
| عرض نسج الألياف | 60 | cm |

الجدول (1)

كما يظهر الشكل (1) الألياف الكربونية المستخدمة في التجربة :



الشكل (1)

2-2 الدراسة التجريبية لقياس مقاومة البيتون على

الضغط :

تم تحضير البيتون من إسمنت بورتلاندي عادي ماركة 32.5 وحصويات مكسرة ذات مقياس أعظمي إعتباري 9.5mm وتدرج حي مطابق لمواصفات الكود البريطاني BS. للحصول على مقاومة مميزة على الضغط $f_c=20$ MPa تم أخذ كمية الإسمنت مساوية إلى 300 kg/m^3 ونسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) مساوية إلى 0.66. أما تركيب الخلطة بالكامل بمافي ذلك الرمل S و الحصويات G فتعطي كمايلي كنسب من وزن الإسمنت

[5]. تركزت الدراسة بشكل خاص على دراسة تأثير قطر العمود وتأثير النسبة الحجمية للألياف FRP وعامل مرونتها ومقاومتها للشد بالإضافة لتأثير مقاومة البيتون ومقاومة المغلف المقاسة وبالتالي قدرة تحمل الأعمدة المغلفة. خلص الباحثون في نهاية الدراسة إلى أن توقعات كود CSA هي أكثر اعتدالاً.

بالرغم من النتائج المهمة التي قدمتها هذه الدراسات إلا أن أي منها لم يدرس أثر إتجاه الألياف على المقاومة هذا من جهة ومن جهة أخرى تركز الإهتمام بشكل خاص على سلوك العينات الإسطوانية المقواة بالشرائح لإستبطان قوانين سلوك تلك المواد و على دراسة سلوك الأعمدة القصيرة غير المعرضة للتحنيب .

بالاستفادة من نتائج الدراسات المذكورة يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك الأعمدة النحيفة الخاضعة للضغط المركزي والمقواة بشرائح البوليميرات المقواة بالألياف . سيركز العمل بشكل خاص على دراسة أثر إتجاه الشرائح و عددها على سلوك الأعمدة المقواة كما ستنم مناقشة ملائمة العلاقات التصميمية الموجودة في كودات البناء لاستقرار الحمولات المستنتجة تجريبياً.

2- الدراسة التجريبية [10]:

1-2 مواصفات الألياف الكربونية:

يظهر الجدول (1) المواصفات الهندسية للألياف الكربونية المستخدمة بحسب معطيات الشركة المصنعة [11].

$$C : S : G : W$$

$$1 : 2.75 : 3.35 : 0.66$$

القيم المبينة في الجدول (2) بالعامل 0.85 (حسب ما ورد في الكود

العربي السوري [8] البند 13-7-3-3) :

| اسم الخلطة | f_c (28days) (MPa) |
|------------|----------------------|
| B1 | 19.55 |
| B2 | 20.4 |
| B3 | 21 |
| B4 | 21.5 |
| B5 | 21.7 |

الجدول (3)

بحساب وسطي مقاومات الضغط للعينات الخمس أعلاه نجد أن القيمة الوسطية مساوية إلى 20.83MPa و هي بحدود المقاومة المطلوبة 20MPa.

2-3 توصيف الأعمدة المستخدمة في الدراسة:

تم صب أربع مجموعات من الأعمدة الدائرية (الشكل 3) بقطر 10cm ويطول 135cm . التسليح الطولي عبارة عن تسليح أصغري

محلزن $6\phi 6mm$ و التسليح العرضي $\phi 6mm / S = 10cm$

من الخرسانة ذات المقاومة المميزة على الضغط $f'_c = 20MPa$

و المذكورة في الفقرة 2-2 .

تم اختيار أبعاد العينات الموضحة في الشكل (3) بحيث يكون عامل

التحنيب أكبر من 40 (و هي قيمة التحنيب الحدية بحسب الكود

العربي السوري [8]) حيث بحسب معامل التحنيب بالعلاقة :

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{l}{0.25D} = \frac{135}{0.25*10} = 54 > 40 \quad (2)$$

تم إجراء اختبارات الضغط على عينات مكعبية نظامية (20*20*20)

من الخلطة المذكورة أعلاه بعمر 7 أيام، 28 يوم من حفظها بدرجة

حرارة و رطوبة ثابتتين . تم لاحقاً حساب مقاومة الضغط الأسطوانية

انطلاقاً من المقاومة المكعبية باستخدام العلاقة التالية:

$$f_c = \alpha \frac{P}{A} \quad (1)$$

حيث أن:

α عامل تصحيح إلى مقاومة ضغط أسطوانية ويعطى من أجل عينة

مكعبية (20*20*20) بالقيمة 0.83 بحسب البند 4-2-7-1 الوارد

في الكود العربي السوري [8] .

يعطي الجدول 2 النتائج التي تم الحصول عليها لجميع العينات المختبرة :

| اسم الخلطة | f_c (7days) (MPa) | f_c (28days) (MPa) |
|------------|---------------------|----------------------|
| B1 | 16 | 23 |
| B2 | 17.5 | 24 |
| B3 | 18.4 | 24.7 |
| B4 | 19 | 25.3 |
| B5 | 19.56 | 25.5 |

الجدول (2)

ويبين الشكل (2) نموذج اختيار العينات المكعبية :



الشكل (2) اختبار الضغط.

إنطلاقاً من النتائج السابقة تم حساب مقاومة الضغط الأسطوانية بعد

28 يوم كما هو مبين في الجدول (3) و ذلك بعد ضرب كل قيمة من



الشكل (4) تحضير تسليح العينات.



الشكل (3) العينات المصبوبة في التجربة.

تم صب 12 عمود قسمت الى أربع مجموعات :

- ثلاث أعمدة كعينات مرجعية (I_{R20} , II_{R20} , III_{R20})
الهدف منها تحديد قدرة تحمل الأعمدة غير المقواة لمقارنتها مع قدرة تحمل العينات المقواة .

- المجموعة (C1) تتضمن 3 أعمدة تم تغليفها بطبقة ألياف كربونية بالاتجاه العرضي .

- المجموعة (C2) تتضمن 3 أعمدة تم تغليفها بطبقة ألياف كربونية طولية و طبقة أخرى عرضية .

- المجموعة (C3) تتضمن 3 أعمدة تم تغليفها بطبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية .

الهدف من تحضير المجموعات (C1,C2,C3) هو معرفة تأثير اتجاه و عدد طبقات الألياف على زيادة قدرة تحمل العينة .

2-4 مراحل سير التجارب:

تبين الأشكال (4) و (5) مراحل صب العينات قبل تغليفها بالألياف :



الشكل (5) مراحل صب العينات.

جميع العينات المذكورة أعلاه حفظت بالشروط النظامية المذكورة في

الكود العربي السوري [8] و بعد حفظها تم تغليف عينات المجموعة

C1,C2,C3 بالألياف الكربونية .

1-4-2 تغليف العينات بالألياف الكربونية:

بعد حفظ العينات 28 يوم تم تغليف عينات المجموعات C1,C3 ذات

الألياف الكربونية العرضية كما بالشكل (6):

المجموعة C1 (مغلقة بطبقة ألياف كربونية بالاتجاه العرضي) و المجموعة

C3(مغلقة بطبقتين ألياف كربونية عرضيتين) :



الشكل (7) مراحل التغليف بطبقة ألياف كربونية طولية و أخرى

عرضية .

تم تجهيز كل عينة من العينات المرجعية والمقواة بمقياس للانتقال الطولي وضع عند المسند العلوي لجهاز الضغط ومقياسين متقابلين لقياس الانتقال الجانبي الناتج عن اختبار العينة على الضغط وضعا في منتصف طول العينة وذلك لتحديد جهة تحنيب العينة إما باتجاه المقياس (1) أو باتجاه المقياس (2) و رسم الانتقال الجانبي في المنتصف بالقيمة المطلقة لجميع العينات كما مبين بالشكل (8) :



الشكل (6) مراحل التغليف بالألياف الكربونية عرضياً.

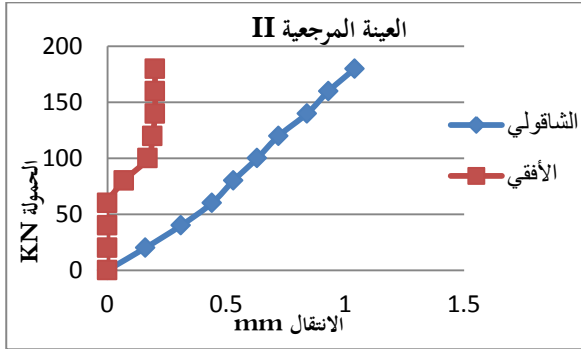
أما عينات المجموعة C2 (مغلقة بألياف كربونية بالاتجاه الطولي وألياف

كربونية بالاتجاه العرضي) كما بالشكل (7) :



الشكل (8) مقاييس تشوه للعينات المختلفة.

سنعتمد العينة المرجعية II_{R20} لمقارنة الانتقال الشاقولي و الجانبي مع نظيرها من العينات المقواة بالألياف الكربونية نظراً لقدرة تحملها الأكبر من قدرة تحمل العينات المرجعية الأخرى.



الشكل (10) مخطط الانتقال الأفقي و الشاقولي للعينة المرجعية.

3-2 اختبار العينات المغلفة بالألياف الكربونية:

بتطبيق الحمولة حدث بداية تحنّب لكلا المجموعتين ثم اختيار في منطقة الضغط ثم في منطقة الشد لمقطع التحنّب. تشققت الألياف العرضية للعينة عند مسافة 0.35L مع انتقال وسطي مساو ل 2.8cm لعينات المجموعة C1 ذات الألياف الكربونية بالاتجاه العرضي فقط و التي انهارت عند حمولة وسطية 430KN تقريباً، بينما تشققت الألياف العرضية عند مسافة 0.21L بمقدار انتقال وسطي مساو ل 1.7cm لعينات المجموعة C2 ذات الألياف الكربونية الطولية والعرضية والتي انهارت عند حمولة وسطية 420KN , أما عينات المجموعة C3 ذات طبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية فقد تشققت الألياف عند ثلث طول العينة تقريباً بمقدار انتقال وسطي مساو ل 1cm و انهارت عند حمولة وسطية 560KN (حيث بدأ التقوس للمجموعات الثلاث المقواة من مسافة 1m من طول العينة). يبين الشكل (11) نموذج اختيار عينات المجموعة C1

3- نتائج اختبار الأعمدة:

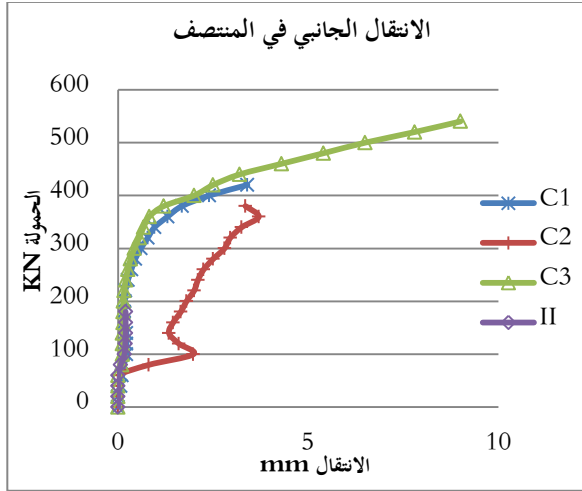
تعرضت العينات (المقواة و غير المقواة) لحمولة ضغط محوري متزايدة بالتدرّج (كل 20KN تقريباً) حتى انهيار العينة و ذلك بواسطة الجهاز المبين بالشكل (8) من طراز Tonindustrie تم قياس الانتقال الطولي و العرضي المقابل من أجل كل زيادة في الحمولة المطبقة.

3-1 اختبار الأعمدة المرجعية:

انهارت العينات عند حمولة 160KN للعينة الأولى I و 185KN للعينة الثانية II و 170KN للعينة III بعد حدوث تحنّب عند ثلث طولها تقريباً كما بالشكل (9) مع انتقال بمقدار يتراوح بين 17-23mm. يبين الشكل (10) علاقة الانتقال الشاقولي و الجانبي للعينة مع الحمولة المطبقة .

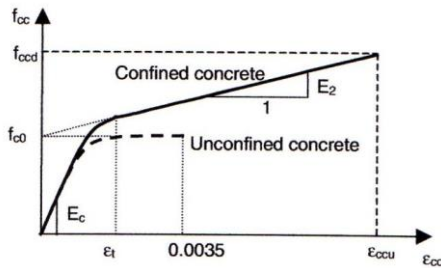


الشكل (9) انهيار العينات المرجعية.



الشكل (12) مقارنة تشوه العينات المغلفة بالألياف الكربونية مع

تشوه العينة المرجعية.



الشكل (13) منحنى إجهاد-تشوه للبيتون المغلف بالألياف

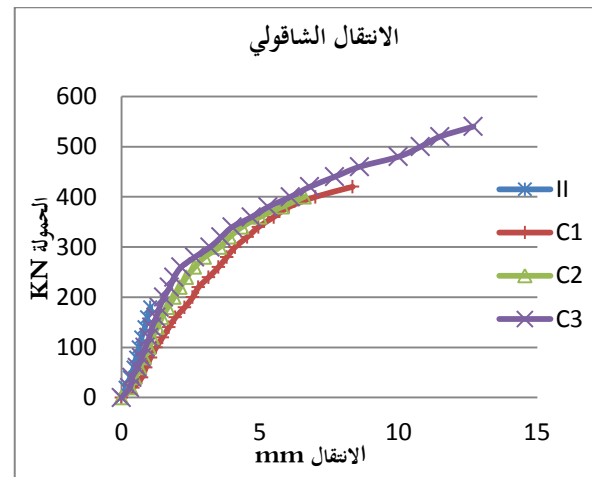
. [6] FRP

بالعودة لمنحنى إجهاد- تشوه للبيتون المغلف بالألياف الكربونية (الشكل 13) نجد أنه عندما يزداد الإجهاد المحوري يزداد أيضاً مجال التشوهات الجانبية للبيتون والذي يؤدي إلى تخفيض مرافق بقساوة البيتون. عندما يصل البيتون حد التشوه الأعظمي للبيتون غير المغلف (و الذي يساوي نموذجياً 0.0035) تصبح المادة عالية التشقق والحصر الذي تسببه الألياف الكربونية FRP هو منشط بالكامل. في هذه المرحلة تصبح

المماثل لشكل انهيار عينات المجموعتين C2,C3. كما يبين الشكل (12) علاقة انتقال - حمولة لعينات المجموعات C1,C2,C3 مقارنة مع العينة المرجعية II .



الشكل (11) انهيار المجموعة C1.



سنعتمد هذه الحمولة كقيمة مرجعية و سنبين مدى فعالية كل طريقة للوصول إلى هذه القيمة .

نلاحظ من الشكل (12) أن العينات المقواة بالألياف الكربونية للمجموعات C1,C2,C3 أعطت قدرة تحمل على الضغط أكبر من تحمل عينة مرجعية بمقاومة مميزة على الضغط $f'_c = 25MPa$ و المساوية $N_u = 190KN$ حيث أدى استخدام الألياف لرفع كفاءة العينات وزيادة قدرة تحملها مع زيادة في التشوهات حتى يحدث تحنيب للعينة بدون حدوث انهيار مفاجئ .

من التجربة تم التأكد من مدى فعالية الألياف الكربونية , حيث أنه زادت الحمولة تجريبياً بالنسبة لعينات المجموعة C1 بنسبة :

$$\left(\frac{430-185}{185} \right) \times 100 = 132.4\%$$

و بالنسبة لعينات المجموعة C2 :

$$\left(\frac{420-185}{185} \right) \times 100 = 127\%$$

أما عينات المجموعة C3 فقد زادت الحمولة تجريبياً بنسبة :

$$\left(\frac{560-185}{185} \right) \times 100 = 202.7\%$$

• تقدير نسبة زيادة الحمولة حسابياً :

سيتم الحساب وفق كود **ACI-440** حيث أن كود CSA-S806-02

لا يأخذ بالاعتبار عند حساب قدرة تحمل العينة المغلفة بالألياف

الكربونية عدد طبقات الغلاف، كما أن الكود 2001 ISIS لا يعطي

علاقة لحساب قدرة تحمل العينة المغلفة بالألياف الكربونية.

تعطى قدرة التحمل وفق هذا الكود بالعلاقة (4) التالية:

الاستجابة إجهاد-تشوه خطية تقريباً مع ميل يعتمد على قساوة غلاف الألياف FRP وعدد طبقات الغلاف.

وتشير منطقة الانتقال بين الجزئين إلى المرحلة التي يبدأ فيها غلاف ال FRP بإعاقة التوسع الجانبي للبيتون.

وهذا ما وجدناه تجريبياً حيث نلاحظ من الشكل (12) أن العينات المقواة بالألياف الكربونية C1,C2,C3 أعطت قدرة تحمل أكبر حيث أدى استخدام الألياف لرفع كفاءة العينات وزيادة قدرة تحملها وبالتالي حدثت تشوهات أكبر دون حدوث انهيار مفاجئ.

3-3 تحليل نتائج الاختبار:

باعتقاد العلاقة (3) الواردة في الكود العربي السوري [8] بالبند 9-2-

2-3 تحت رقم (9-1) حسب ما ورد في الحساب على التحنيب للأعضاء المضغوطة الطويلة بند 9-6-2-9 ب تعطى الحمولة الحدية بالعلاقة (1) :

$$N_u = \frac{0.8\Omega}{K_e K_b} [0.85f'_c A'_c + f_y A_s] \quad (3)$$

عند حساب الحمولة تجريبياً يمكن الاستغناء عن عوامل الأمان ونبقي

على عامل التحنيب $K_b = 1.23$ بما أن العينات المصبوبة في الدراسة

التجريبية هي أعمدة قابلة للتحنيب . فتكون قيمة الحمولة مساوية

عندئذ إلى :

$$N_u = 163.7KN$$

باعتبار أن الحمولة المراد الوصول إليها من أجل مقاومة مميزة على الضغط

$f'_c = 25MPa$ وبالاستغناء عن عوامل الأمان والإبقاء على عامل

$$N_u = 190KN \quad \text{التحنيب تساوي :}$$

حيث: \mathcal{E}_{fu} التشوه الأقصى للألياف FRP وبذلك فإن:

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f = 924 \text{ MPa}$$

و بما أن الأعمدة المغلفة بالألياف الكربونية خضعت للتحنيب لذا يجب إدخال عامل التحنيب $K_b = 1.23$ في العلاقة (4) لتصبح العلاقة كما يلي:

$$p_n = \frac{k_e}{k_b} [0.85 \psi_f f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (9)$$

و بحذف عوامل الأمان (بهدف المقارنة لاحقاً مع نتائج العينة المرجعية) و الإبقاء على عامل التحنيب $K_b = 1.23$ تصبح العلاقة (9) كما يلي:

و منه نجد أن قدرة تحمل عينات المجموعة C1 (ذات غلاف من طبقة واحدة من الألياف الكربونية) :

$$\rho_f = 4nt_f / d = 0.0048 \Rightarrow$$

$$f_l = 2.22 \text{ MPa}$$

$$f'_{cc} = 32.21 \text{ MPa}$$

$$P_n = 226 \text{ KN}$$

أي أنه من أجل طبقة ألياف كربونية واحدة (عينات المجموعة C1) تزداد قدرة تحمل العينة المرجعية حسابياً بنسبة :

$$\left(\frac{226 - 163.7}{163.7} \right) \times 100 = 38\%$$

أما عينات المجموعة C2 (ذات غلاف من طبقة طولية و أخرى عرضية من الألياف الكربونية) نعتبر أنها مغلفة بطبقة واحدة من الألياف الكربونية (بما أن طبقة الألياف الكربونية بالاتجاه الطولي لم تعمل على

$$N = \phi p_n = k_e \phi [0.85 \psi_f f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (4)$$

حيث:

k_e عامل المقاومة ويساوي 0.85 للأعمدة المسلحة بتسليح حلزوني ويساوي 0.8 للأعمدة المسلحة بقضبان شد .

ψ_f عامل تخفيض إضافي للأعمدة المغلفة بالألياف FRP ويؤخذ مساوي إلى 0.95 . أما مقاومة البيتون المغلف f'_{cc} فتحسب بالعلاقة التالية:

$$f'_{cc} = f'_c \left[2.25 \sqrt{1 + 7.9 \frac{f_l}{f'_c}} - 2 \frac{f_l}{f'_c} - 1.25 \right] \quad (5)$$

حيث أن f'_c مقاومة البيتون غير المغلف و f_l هو ضغط الغلاف الجانبي و يعطى بالعلاقة:

$$p_n = \frac{1}{k_b} [0.85 f'_{cc} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (10)$$

$$f_l = \frac{k_a \rho_f f_{fe}}{2} \quad (6)$$

k_a عامل الفعالية ويساوي 1 من أجل الأعمدة الدائرية.

ρ_f نسبة حجم ألياف FRP وتعطى كما يلي:

$$\rho_f = 4nt_f / d \quad (7)$$

حيث: n عدد طبقات الألياف FRP ،

t_f سماكة طبقة ألياف FRP واحدة ، d قطر العمود الدائري .

f_{fe} مقاومة شد الألياف FRP وتعطى مساوية :

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f \quad (8)$$

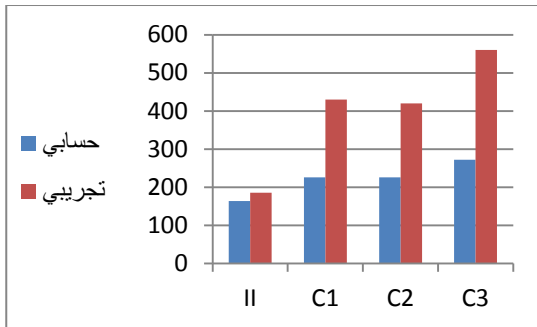
E_f عامل مرونة الألياف FRP ، \mathcal{E}_{fe} التشوه الفعال للألياف FRP

ويساوي القيمة الأصغر بين (0.004 و $0.75 \mathcal{E}_{fu}$)

| نوع العينة | الحمولة العظمى تجريبياً (KN) | الحمولة العظمى حسابياً (KN) (بدون عوامل أمان) |
|---------------|---------------------------------|---|
| مرجعية II R20 | 185 | 163.7 |
| C1 | 430 | 226 |
| C2 | 420 | 226 |
| C3 | 560 | 272 |

الجدول (4)

كما يظهر الشكل البياني (14) حمولة الانهيار الوسطية لعينات المجموعات المقواة بالألياف الكربونية C1,C2,C3 مع حمولة انهار العينة المرجعية II .



الشكل (14) حمولة الانهيار الوسطية (KN).

بدراسة هذا الشكل نلاحظ ما يلي:

- فعالية الألياف الكربونية في تقوية الأعمدة محورياً والمنفذة من خرسانة مسلحة ذات مقاومة ضعيفة حيث أنها تزيد قدرة تحملها على الضغط المحوري حيث تستمر العينة في التحمل حتى حصول التحنيط بدون حدوث انهيار مفاجئ .

زيادة قدرة التحمل حيث أن الألياف بالاتجاه العرضي هي التي قامت بالحصار ورفع قدرة تحمل العينة (وبالتالي فإن قدرة تحملها حسابياً هي نفس قدرة تحمل عينات المجموعة C1 المذكورة أعلاه .

أما عينات المجموعة C3 ذات غلاف من طبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية): نجد عند حساب قدرة تحملها على الضغط بدون عوامل أمان (بهدف المقارنة لاحقاً مع نتائج العينة المرجعية) ونبقي على عامل التحنيط $K_b = 1.23$ نجد :

$$\rho_f = 4nt_f / d = 0.0096 \Rightarrow$$

$$f_l = 4.44 MPa$$

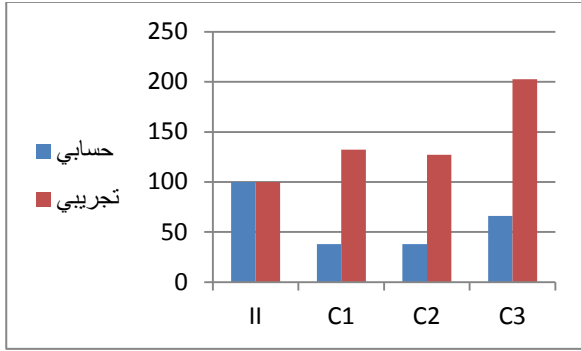
$$f'_{cc} = 40.8 MPa$$

$$P_n = 272 KN$$

أي من أجل عينات المجموعة C3 ذات غلاف من طبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية تزداد قدرة تحمل العينة المرجعية حسابياً بنسبة :

$$\left(\frac{272 - 163.7}{163.7} \right) \times 100 = 66.2\%$$

يلخص الجدول (4) نتائج كل من الدراسة التجريبية والدراسة الحسابية التي حصلنا عليها:



الشكل (15) النسبة المئوية للزيادة في قدرة التحمل.

نلاحظ أن النسبة المئوية للزيادة في قدرة التحمل على الضغط الحسابية أقل من تلك التجريبية في العينات المقواة بالألياف الكربونية C1,C2,C3 وذلك بسبب عوامل التخفيض في حساب قدرة التحمل على الضغط لتلك العينات في كل من مساهمة البيتون و مساهمة التسليح الطولي المبينة في العلاقة (5) و العلاقة (10) . بملاحظة الانتقالات الأفقية في الأعمدة المغلفة مع تلك في العمود المرجعي نجد أنها تناقصت بشكل واضح و بالتالي فإن سلوك الأعمدة المغلفة أصبحت أقرب لسلوك عمود قصير غير محنب و هذا يستدعي تغيير معامل التحنيب المعتمد و إجراء المزيد من التجارب للوصول للمعاملات المناسبة , بالإضافة الى أن قيم مقاومة ضغط البيتون و إجهاد خضوع الحديد الفعلية هي أكبر من تلك النظرية المستخدمة في حساب قدرة تحمل العينات على الضغط .

4- النتائج والتوصيات:

1 - إن التقوية بالألياف الكربونية تعطي قدرة تحمل على الضغط المحوري كبيرة مقارنة مع العينات المرجعية كما تعطي زيادة في المطاوعة حيث سمحت بزيادة التشوه لحين خضوع تسليح الشد و حدوث

- وضع الألياف الكربونية طولياً لم يكن له أثر واضح في زيادة قدرة التحمل على الضغط للعينات المقواة , بل إن الألياف العرضية هي التي منعت التشوه عرضياً للعينات المعرضة لضغط محوري و زادت بذلك طاقة الحصر و بالتالي أخرت حدوث الانهيار بالبيتون و أدت إلى زيادة في كل من مقاومة الضغط و تشوه الضغط للبيتون . لذلك نلاحظ أن قدرة تحمل عينات المجموعة C1 و المجموعة C2 متقاربة .

- إن طاقة الحصر الناتجة من تغليف العينة بطبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية أكبر من تلك الناتجة من التغليف بطبقة ألياف كربونية عرضية واحدة مما يؤدي لقدرة تحمل على الضغط أكبر .

لنلخص الآن في الجدول (5) نتائج نسبة الزيادة في قدرة التحمل المئوية تجريبياً وحسابياً لكل عينة كما يلي:

| نوع العينة | الزيادة في قدرة التحمل حسابياً % | الزيادة في قدرة التحمل تجريبياً % |
|------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| R20 II | - | - |
| C1 | 38 | 132.4 |
| C2 | 38 | 127 |
| C3 | 66.2 | 202.7 |

الجدول (5)

كما يبين الشكل البياني (15) النسبة المئوية للزيادة في قدرة التحمل على الضغط لعينات المجموعات المقواة بالألياف الكربونية C1,C2,C3 بالنسبة لقدرة تحمل العينة المرجعية II على الضغط .

reinforced polymers." CSA-S806-02, CSA Rexdale BD, Toronto.

3- Omar Chaallal, M.ASCE ; Munzer Hassan ; and Michel LeBlanc.(2006)."Circular Columns Confined with FRP: Experimental versus Predictions of Models and Guidelines" /JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION, Vol. 10, No. 1, © ASCE, ISSN 1090-0268/2006/pp.4-12/ JANUARY/FEBRUARY 2006/

4- Report of a Concrete Society Committee, First edition published (2000)."Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials"/ Concrete Society Technical Report No. 55, Second Edition /The Concrete Society 2004, pp (26,53-56).

5-Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS).(2001). "Externally bonded FRP for strengthening reinforced concrete structures." The Canadian Network of Centres of Excellence on ISIS, ISIS M04, Winnipeg, Manitoba, Canada.

6-LAM, L. and TENG, J.G. (2003) "Stress-strain model for FRP confined concrete for design applications" , In: Tan, K.H. (Ed.), Proceedings of the Sixth International Conference on FRP Reinforcement for Concrete Structures, World Scientific, Singapore, Volume 2, pp.99-110.

7- G. Wu^{a,*}, Z.T. Lu^a, Z.S. Wu^b, (2005), "Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites": ^a College of Civil Engineering, Southeast University, Nan Jing 210096, PR China. ^b Department of Urban and Civil Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316-8511, Japan. Construction and Building Materials 20 (2006) 134-148 .

8- الكود العربي السوري نسخة 2004 .

9- رسالة ماجستير بعنوان : " استخدام الألياف الكربونية في تدعيم

العناصر الإنشائية المعرضة للضغط والمنفذة من الخرسانة ذات

التحنيب للأعمدة المغلفة بدون حدوث أي انهيار مفاجئ و ذلك

بسبب الحصر الناتج عن غلاف الألياف الكربونية .

2 - نلاحظ أن حمولة الانهيار على الضغط لعينات المجموعتين C1,

C2 المغلفتان بالألياف الكربونية كانت متقاربة أي أن الألياف

الكربونية بالاتجاه الطولي لم تؤثر على زيادة القوة التي تتحملها العينة,

و ذلك لعدم فعالية غلاف الألياف في مقاومة التشوهات الطولية

و اقتصار عملها على الحصر و مقاومة التشوهات العرضية الناتجة

عن الضغط .

3 -إن تأثير غلاف من طبقتين عرضيتين من الألياف الكربونية (كما

في العينات C3) ساهم في تخفيض التحنيب أي انتقال أفقي أقل

من الانتقال الأفقي للعينات ذات غلاف من طبقة عرضية واحدة

من الألياف الكربونية (كما في العينات C1) و نتج بالتالي زيادة

في الحصر مما أدى لتحمل قوة ضغط أكبر .

4 - القيم الأعظمية للاجهادات في كل العينات تحدث بالقرب من

نهاياتها (في الربع الأول للعينة) لذا نوصي بإجراء دراسة للأعمدة

يتم فيها تلفيح نهايات الأعمدة فقط بالألياف الكربونية .

5 - نوصي بدراسة تأثير تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية

الطويلة مع تغير معامل التحنيب لها .

المراجع:

1-ACI-440 Committee. (2002). **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures.** ACI 440, Detroit.

2-Canadian Standard Association (CSA). (2002). "Design and construction of building components with fibre-

14 م.بنان فلوح , د.م.ميادة الكوسا, د.م.ماجد أسعد: تقوية الأعمدة البيتونية المسلحة الدائرية الطويلة .

المقاومة المميزة الضعيفة " /2005, إعداد : م. محمد بسام كنجو /

جامعة حلب 2005 .

10- رسالة ماجستير بعنوان : " مقارنة بين تقوية الأعمدة البيتونية

المسلحة الدائرية الطويلة باستخدام البوليميرات المسلحة بألياف

كربونية و استخدام قميص من البيتون المسلح بالألياف الفولاذية

القصيرة . " /2011, إعداد :م.بنان فلوح , إشراف : د.ميادة الكوسا

و د.ماجد أسعد/ جامعة دمشق 2011.

11- شركة الصنع : Design Guide /Software for S&P FRP

Systems.